

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-258136

(43)Date of publication of application : 03.10.1997

(51)Int.Cl.

G02B 27/28
G02F 1/313

(21)Application number : 08-088775

(71)Applicant : FUJI ELELCTROCHEM CO LTD

(22)Date of filing : 18.03.1996

(72)Inventor : IMURA TOMOKAZU

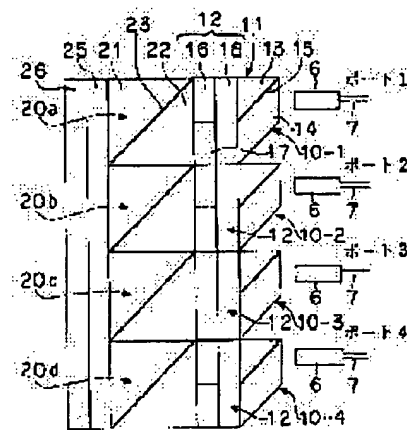
SUZUKI YOICHI
TOKUMASU TSUGIO

(54) OPTICAL CIRCULATOR AND OPTICAL SWITCH

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical circulator of four ports with a low loss and high isolation by using an inexpensive, small-sized and easily manufactur-able beam splitter(PBS).

SOLUTION: Four pieces of respective terminal units 10-1 to 10-4 are constituted so that non-reciprocal parts 12 of which front and rear surface are made opposite are arranged on triangular prisms 13 and prallelogram prisms 14 of lower bottom surfaces of first PBSs 11 in parallel, and upper bottom surfaces of the PBSs of respective units become input/output ports of light. Respective terminal units face the same direction to be arranged in parallel, and second PBSs 20a-20d, a Faraday rotator 25 and a total reflection mirror 26 are arranged on a non-reciprocal part side. Since leakage light components occurring in respective optical elements are emitted in the direction different from the coupling direction of the port, and are attenuated further when they transmit through, the high isolation is obtained.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-258136

(43)公開日 平成9年(1997)10月3日

| (51)IntCl ⁶ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
|------------------------|------|--------|---------------|--------|
| G 0 2 B 27/28 | | | G 0 2 B 27/28 | A |
| G 0 2 F 1/313 | | | G 0 2 F 1/313 | |

審査請求 未請求 請求項の数7 F D (全 17 頁)

(21)出願番号 特願平8-88775

(22)出願日 平成8年(1996)3月18日

(71)出願人 000237721

富士電気化学株式会社

東京都港区新橋5丁目36番11号

(72)発明者 井村 智和

東京都港区新橋5丁目36番11号 富士電気化学株式会社内

(72)発明者 鈴木 洋一

東京都港区新橋5丁目36番11号 富士電気化学株式会社内

(72)発明者 徳増 次雄

東京都港区新橋5丁目36番11号 富士電気化学株式会社内

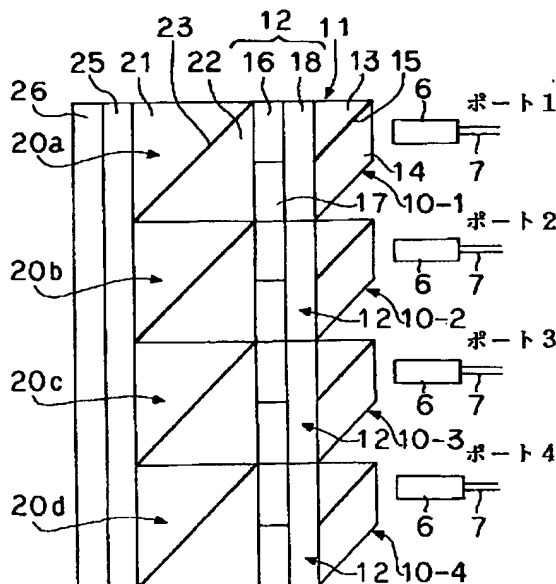
(74)代理人 弁理士 松井 伸一

(54)【発明の名称】 光サーキュレータ及び光スイッチ

(57)【要約】

【課題】 安価で小型で製作容易な偏光ビームスプリッタ (PBS) を用いて低損失かつ高アイソレーションな4ポートの光サーキュレータを提供すること

【解決手段】 4個の各端子ユニット10-1~10-4は、第1のPBS11の下底面の三角プリズム13と平行四辺形プリズム14に、互いに表裏を逆にした非相反部12が並列に配置され、各ユニットのPBSの上底面が光の入出力ポートとなる。各端子ユニットは、同一方向を向き平行に配置され、非相反部側に第2のPBS20a~20d、ファラデー回転子25、全反射ミラー26を配置する。各光学素子で発生した漏洩光成分は、ポートの結合方向と異なる方向に出射したり、透過する際にさらに減衰されるので、高アイソレーションを得る。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 三角プリズム（13）と、狭角が45度の平行四辺形プリズム（14）の一面とが偏光分離膜（15）を挟んで一体化された第1の複合偏光ビームスプリッタ（11）と、

直線偏光が1つの面からもう1つの面へ通過する際に偏光方位を90度回転させ、それと逆方向へ通過する際にその偏光方位を回転させないようにした所定の寸法形状の非相反部（12）とを用い、

前記第1の複合偏光ビームスプリッタを構成する下底面の三角プリズムと平行四辺形プリズムに、互いに表裏を逆にした前記非相反部を並列に配置してなる端子ユニット（10-1、10-2、10-3、10-4）をn個（nは3以上の整数）用意するとともに、それらを同一方向に向けて平行に配置し、

前記端子ユニットの第1の複合偏光ビームスプリッタ側に入射ポートを配置し、

前記非相反部側に2つの三角プリズム（21、22）が偏光分離膜（23）を挟んで一体化された第2の複合偏光ビームスプリッタ（20a、20b、20c、20d）を、各偏光分離膜（23）が平行になるように配置し、

かつ、前記第2の複合偏光ビームスプリッタの前記非相反部の対向面と反対側に、往復することにより偏波面を90度回転させる偏波回転手段（25）と、反射手段（26）の順に配置したことを特徴とする光サーキュレータ。

【請求項2】 前記偏波回転手段が45度回転するフェラデー回転子（25）であることを特徴とする請求項1に記載の光サーキュレータ。

【請求項3】 前記偏波回転手段が1/4波長板（31）であることを特徴とする請求項1に記載の光サーキュレータ。

【請求項4】 前記三角プリズムを通過する光の光路上に、偏波分散補償板（28）を設けたことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の光サーキュレータ。

【請求項5】 前記第2の複合偏光ビームスプリッタと、前記偏波回転手段との間に、複屈折板（30）を設けたことを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の光サーキュレータ。

【請求項6】 隣接する前記端子ユニットを構成する前記三角プリズムと前記平行四辺形プリズムが対向するように配置するとともに、隣り合う前記端子ユニットの構成要素の一部が共通の部品（13'、14'、15'、16'、17'、18'）からなることを特徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載の光サーキュレータ。

【請求項7】 請求項1～6のいずれかに記載の光サーキュレータの構成において、前記非相反旋光子として電気的手段により非相反性の方向が切替自在なものをを用い

たことを特徴とする光スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信システムなどに用いられるNポートの光サーキュレータ及び光スイッチに関する。

【0002】

【従来の技術】4ポートの光サーキュレータとしては特開平5-34633号公報に記載された構成が代表的である。これは非相反部の両側に複屈折板を備え、この2個の複屈折板にそれぞれ2個の端子モジュールを結合して4ポート回路としている。

【0003】ここでは2個の複屈折板による常光と異常光の光路を分離する機能と、非相反部の非相反性を組み合わせることで、ポート1の入力光がポート2から出力し、ポート2の入力光がポート3から出力し、ポート3の入力光がポート4から出力し、ポート4の入力光がポート1から出力するという4ポート光サーキュレータの機能を実現している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来の光サーキュレータでは常光・異常光を分離する偏光分離素子として複屈折板を用いているために、常光ビームと異常光ビームの分離距離を十分に大きくするためには複屈折板の厚みを相当大きくしなければならず、そのために光サーキュレータが大型で高価になるという問題があった。複屈折板として例えばルチル単結晶を用いる場合、その最大分離距離に対する厚みの比は約1:10なので、10ミリメートルの分離距離を確保しようとするならば、複屈折板の厚みは100ミリメートル必要となる。

【0005】また、常光ビームと異常光ビームの分離距離が複屈折板への入射角度によって変化する特性があるために、複屈折板と入出力ポートとの機械的な配置関係を高精度にし、入射角度を高精度に一定に保つ必要がある。したがって光サーキュレータの組立・調整が面倒になる。

【0006】そこで複屈折結晶を使用せずに、偏光ビームスプリッタを偏光分離手段および光路決定手段として用いることが考えられる。偏光ビームスプリッタは製作容易で安価で小型である。しかし偏光ビームスプリッタの消光比があまり高くないことから、従来、このタイプで低損失かつ高アイソレーションの光サーキュレータを実現することができなかった。

【0007】さらに、上記した従来の光サーキュレータでは、入出力ポートが4方向に伸びるように設置されているため、光サーキュレータ本体全体が大きくなってしまふ。そして、各ポートには光ファイバが接続され、その光ファイバを光損失を生じないように曲げると、その曲げ半径はあまり小さくすることができず、その光ファイバの専有面積を考慮した光サーキュレータの光回路基

板上での占有率は非常に大きくなってしまふ。さらに、光回路基板上での設置位置も、上記4方向にポート（光ファイバ）が伸びることに鑑みると、基板の中央となり、基板設計上の自由度も少なくなる。

【0008】本発明は、上記した背景に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、上記した問題を解決し、安価で小型で製作容易な偏光ビームスプリッタを用いて低損失かつ高アイソレーションのNポート光サーキュレータ及び光スイッチを提供することにある。さらに、別の目的としては、上記目的を達成しつつ、ポートを1方向に伸びるように配置（同一面に各ポートを設置）し、小型化並びに配置レイアウトの自由度の向上を図ることにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記した目的を達成するため、本発明に係る4ポート光サーキュレータは、三角プリズム（13）と、狭角が45度の平行四辺形プリズム（14）の一面とが偏光分離膜（15）を挟んで一体化された第1の複合偏光ビームスプリッタ（11）と、直線偏光が1つの面からもう1つの面へ通過する際に偏光方位を90度回転させ、それと逆方向へ通過する際にその偏光方位を回転させないようにした所定の寸法形状の非相反部（12）とを用い、前記第1の複合偏光ビームスプリッタを構成する下底面の三角プリズムと平行四辺形プリズムに、互いに表裏を逆にした前記非相反部を並列に配置してなる端子ユニット（10-1, 10-2, 10-3, 10-4）をn個（nは3以上の整数）用意するとともに、それらを同一方向に向けて平行に配置する。

【0010】そして、前記端子ユニットの第1の複合偏光ビームスプリッタ側に入射ポートを配置し、前記非相反部側に2つの三角プリズム（21, 22）が偏光分離膜（23）を挟んで一体化された第2の複合偏光ビームスプリッタ（20a, 20b, 20c, 20d）を、各偏光分離膜（23）が平行になるように配置する。さらに、前記第2の複合偏光ビームスプリッタの前記非相反部の対向面と反対側に、往復することにより偏波面を90度回転させる偏波回転手段（25）と、反射手段（26）の順に配置した（請求項1）。

【0011】そして、前記偏波回転手段としては請求項2に規定したように45度回転するファラデー回転子（25）を用いたり、請求項3に規定したように1/4波長板（31）を用いることができる。

【0012】上記構成にすると、順方向については、端子ユニットの複合偏光ビームスプリッタで入射光をP偏光とS偏光に分離し、非相反部でひとつの偏光は90°偏波面を回転させ、他方は偏波面を回転させない。これにより第2の複合偏光ビームスプリッタには同一の偏波面を持つ偏光が入射される。この時、第2の複合偏光ビームスプリッタにとってS偏光になるようにしている。

【0013】S偏光であるので、第2の複合偏光ビームスプリッタの偏光分離膜で反射され、隣接する他の第2の複合偏光ビームスプリッタに入射され、その偏光分離膜でさらに反射される。これにより、一段シフトされて偏波回転手段に向けて出射される。そのS偏光は、反射手段により戻ってくるが、その途中で偏波回転手段を往復し、偏波面が90度回転されP偏光になる。従って、係る戻ってきて再度第2の複合偏光ビームスプリッタに入射したP偏光は、偏光分離膜を透過し、端子ユニット（入射光が入射された端子ユニットに隣接する端子ユニット）に至る。そして、そこにおいて二つの光は合成され、偏光依存性なく入射されたポートに隣接するポートから出射される。

【0014】一方、端子ユニットの偏光分離膜の消光比不足並びに非相反部での偏波回転誤差によって生じた漏洩光成分は、逆方向に進むが、入射側の端子ユニット内の第1の複合偏光ビームスプリッタの偏光分離膜で上記とは逆に反射、透過することで、出射ポートのない方向に漏洩光が出射され、出射ポートには結合しない。また、その入射側の第1の複合偏光ビームスプリッタで漏洩光が発生し、一部が入射側のポートに結合するが、係る光は少なくとも2回減衰させられる。よって、2乗の減衰効果が発揮され、たとえ入射側のポートに結合されても、問題がないレベルとなる。

【0015】すなわち、本発明では、反射手段を設けたことにより、部品点数の削減が図れる。さらに、各ポートを同一面に設置でき、各ポートに接続される光ファイバを同一方向に伸びるように配置できる。従って、本発明品を光回路基板上に実装する際に、基板の周縁に配置することも可能となり、配置レイアウトの自由度が増し、また占有面積も小さくなる。

【0016】また、好ましくは、前記三角プリズムを通過する光の光路上に、偏波分散補償板（28）を設けることである（請求項4）。すなわち、平行四辺形プリズムを通過する光の方が、三角プリズムを通過する光に比べて平行四辺形プリズムの幅に相当する光学距離だけ長く移動する。従って、送信信号によっては、係る光路差が誤差を生むおそれがある。係る場合に、光路長の短い三角プリズムを通過する光路上に所定長さの偏波分散補償板を配置することにより、上記光路差を相殺或いは減少する。

【0017】さらに好ましくは、前記第2の複合偏光ビームスプリッタと、前記偏波回転手段との間に、複屈折板（30）を設けることである（請求項5）。係る構成にすると、実施の形態で詳細に説明したように、漏洩光は複屈折板でシフトされて不必要なポートに結合されるのが可及的に抑制される。

【0018】さらに、隣接する前記端子ユニットを構成する前記三角プリズムと前記平行四辺形プリズムが対向するように配置するとともに、隣り合う前記端子ユニッ

10

20

30

40

50

トの構成要素の一部が共通の部品(13', 14', 15', 16', 17', 18')から構成すると良い(請求項6)。そして、上下に連続するようにすると、各ポートも上下に配置された縦型となり、設置面積が小さくなる。

【0019】さらにまた、本発明に係る光スイッチでは、請求項1～6のいずれかに記載の光サーキュレータの構成において、前記非相反旋光子として電気的手段により非相反性の方向が切替自在なものをを用いることである(請求項7)。

【0020】

【発明の実施の形態】図1は、本発明に係る光サーキュレータの第1の実施の形態の構成を示している。同図に示すように、本例では4ポートの光サーキュレータであるので、4つのポート1～4に対応する4つの端子ユニット10-1, 10-2, 10-3, 10-4を備えるとともに、4つの複合偏光ビームスプリッタ20a, 20b, 20c, 20dと、ファラデー回転子25並びに全反射ミラー25とで構成されている。各ポートは、先端にカップリングレンズ6がついた光ファイバ7により構成されている。そして、各部の具体的な構成は、以下のようにになっている。

【0021】〔各端子ユニット10の構成〕4個の端子ユニット10-1, 10-2, 10-3, 10-4は、基本的には同一構成のものをを用いる。従って、各部の説明の際に、それらを区別する必要のない時は、単に端子ユニット10と記す。各端子ユニット10は、第1の複合偏光ビームスプリッタ(以下、「第1のPBS」とする)11と、表裏逆特性の2つの系を含んだ非相反部12とで構成されている。

【0022】各第1のPBS11は、三角プリズム13と、狭角が45度の平行四辺形プリズム14の一面とが偏光分離膜15を挟んで一体化されて片台形に構成されている。そして、その第1のPBS11の上底面に光ファイバ7のカップリングレンズ6が結合され、また、第1のPBS11の下底面に非相反部12が近接配置されている。

【0023】非相反部12は、第1のPBS11の下底面を2分割した平面形状からなる2つの1/2波長板16, 17と、第1のPBS11の下底面とほぼ同一の平面形状からなるファラデー回転子18と、このファラデー回転子18を厚み方向に磁気飽和させる永久磁石とから構成されている。本例では、第1のPBS11の下底面側にファラデー回転子18を配置する。そして、ファラデー回転子18の表面(第1のPBS11との接合面と反対側)に積層するように、2つの1/2波長板16, 17を並列に配置している。

【0024】このとき、2つの1/2波長板16, 17は、互いに表裏が逆の配置になっている。また、1/2波長板16, 17の光学軸は、±22.5度としてい

る。さらに、ファラデー回転子18は、順方向の入射偏光の方位を反時計方向に45度回転させるようになっている。

【0025】そして、第1のPBS11側からファラデー回転子18と1/2波長板16を通過した光は、ファラデー回転子18と1/2波長板16でそれぞれ同一方向に45度ずつ回転してその偏波面が90度回転し、P偏光はS偏光(S偏光はP偏光)に変換される。逆に1/2波長板16側から両光学部品16, 18を通過した光は、偏波面は正逆方向に45度ずつ回転するためその偏波面は変わらないように設定している。

【0026】一方、第1のPBS11側からファラデー回転子18と1/2波長板17を通過した光は、偏波面は正逆方向に45度ずつ回転するためその偏波面は変わらない。逆に、1/2波長板17側から両光学部品17, 18を通過した光は、1/2波長板17とファラデー回転子18でそれぞれ同一方向に45度ずつ回転してその偏波面が90度回転し、P偏光はS偏光(S偏光はP偏光)に変換するように設定している。

【0027】なお、非相反部12は、図2に示すように、第1のPBS11側に1/2波長板16, 17を配置し、その外側にファラデー回転子18を配置するように構成してももちろんよい。

【0028】〔他の光学部品の構成〕第2の複合偏光ビームスプリッタ(以下、「第2のPBS」という)20a～20dは、ともに2つの三角プリズム21, 22の底面同士で、偏光分離膜23を挟んで一体化された矩形状に形成されている。また、ファラデー回転子25は、入射偏光の方位を45度回転させるようになっている。

さらに、ファラデー回転子25と全反射ミラー26の形状は、4つの第2のPBS20a～20dを横に並べて形成される外形状とほぼ等しい、一枚の細長い偏平な板状としている。なお、このように1枚の偏平な板状にしたのは、部品点数の削減を図ったためで、各第2のPBS20a～20dの平面形状とほぼ同じものを4つ設けても良く、さらには適宜位置で分割しても良い。

【0029】〔4個の端子ユニット同士並びに他の光学部品との関係〕各ポート1～4は、それぞれ平行に等間隔をおいて配置される。そして、各ポートのカップリングレンズ6の入出射面が同一方向を向いている。従って、そのカップリングレンズ6に接続された光ファイバ7は同一方向に伸びるように配置され、実際の装置では、各光学部品等が1つの筐体内の適宜位置に配置され、その筐体の1つの側面に4つのカップリングレンズ6, 光ファイバ7が取り付けられる。

【0030】さらに、各ポート1～4に対向して、4つの端子ユニット10-1～10-4が配置される。この時、第1のPBS11がそれぞれ各ポート1～4に対面するようにする。そして、各端子ユニット10-1～10-4の非相反部12側には、第2のPBS20a～2

0dをそれぞれ配置するとともに、各第2のPBS 20a~20dの偏光分離膜23は、相互に平行になるように配置される。さらに第1のPBS 11の偏光分離膜15と第2のPBS 20a~20dの偏光分離膜23も平行になるように配置している。さらにまた、第2のPBS 20a~20dの端子ユニット10-1~10-4と反対の面には、ファラデー回転子25、全反射ミラー26の順に配置されている。

【0031】次に、上記した構成の光サーキュレータの動作原理、すなわち、順方向と逆方向の光路について説明する。

【0032】[順方向の光路] まず、ポート1からポート2への順方向の光路は、図3に示すようになる。すなわち、同図(A)に示すように、ポート1の端子ユニット10-1において、光ファイバからの入射光線がレンズでコリメートされ、第1のPBS 11に入射し、偏光分離膜15でP偏光とS偏光に分離される。P偏光成分は偏光分離膜15を透過し、S偏光成分は偏光分離膜15で反射して平行四辺形プリズム14でも反射する。

【0033】その結果、P偏光とS偏光は第1のPBS 11から平行に出射する。非相反部12では、ファラデー回転子18、1/2波長板16を通過する光路には、P偏光が入射されるので、上記したように各光学部品18、16で同一方向に45度ずつ回転されS偏光として出射される。また、ファラデー回転子18、1/2波長板17を通過する光路には、S偏光が入射されるので、上記したように各光学部品18、17で正逆方向に45度ずつ回転され、結局S偏光のまま出射される。従って、端子ユニット10-1の非相反部12から出射された2本の光は、ともにS偏光となる。

【0034】上記非相反部12から出射された2本のS偏光の光線は、第2のPBS 20aに入射され、その偏光分離膜23で反射され光路が90度偏光されて隣接する第2のPBS 20bに入射される。そして、その第2のPBS 20bの偏光分離膜23で再度反射される。これにより、端子ユニット10-1の非相反部12から出射された2本の光は、平行にシフトされて第2のPBS 20bからS偏光のまま出射される。

【0035】そして、その両S偏光は、ファラデー回転子25を通過して偏波面が45度回転し、全反射ミラー26で反射されて再度ファラデー回転子25を通過する際に偏波面がさらに45度回転される。従って、往復することにより90度回転してP偏光になる(同図(B)参照)。

【0036】このようにP偏光に変換されるので、全反射ミラー26で反射されて戻ってきた光は、第2のPBS 20bの偏光分離膜23を透過し、第2の端子ユニット10-2の非相反部12の1/2波長板16、17にそれぞれ入射する。そして、1/2波長板16から入射されたP偏光は、非相反部12で偏波面が回転されない

ので、そのまま第2のPBS 11の偏光分離膜15を透過する。また、1/2波長板17から入射されたP偏光は、非相反部12を通過する際にS偏光に変換されるので、偏光分離膜15で反射される。よってその偏光分離膜15でS偏光とP偏光は1本の光線に合成されるので、端子ユニット10-2からポート2に偏波依存性無く結合される。

【0037】そして、同様の動作原理に従い、ポート2から入射された光は、途中で偏波面が適宜回転されたり、分波・合波されたり、光学部品で透過・反射されながら、端子ユニット10-2→第2のPBS 20b→第2のPBS 20c→ファラデー回転子25→全反射ミラー26→ファラデー回転子25→第2のPBS 20c→端子ユニット10-3の順に進み、ポート3に偏波依存性無く結合される。

【0038】さらに、ポート3から入射された光は、途中で偏波面が適宜回転されたり、分波・合波されたり、光学部品で透過・反射されながら、端子ユニット10-3→第2のPBS 20c→第2のPBS 20d→ファラデー回転子25→全反射ミラー26→ファラデー回転子25→第2のPBS 20d→端子ユニット10-4の順に進み、ポート4に偏波依存性無く結合される。

【0039】このように、ポート1から入射された光はポート2から出射され、ポート2から入射された光はポート3から出射され、ポート3から入射された光はポート4から出射されるようになる。

【0040】一方、PBSを用いた光サーキュレータのアイソレーション特性の劣化原因としてはPBSの偏光分離能力(消光比)不足と、偏波面を回転させる素子の回転角のずれとによって生じる伝搬すべき偏波に含まれる直交偏波成分が漏洩光となって結合されてしまうためである。そこで、この逆方向に進む光(漏洩光)の光路について説明する。

【0041】[逆方向に進む漏洩経路] ポート2からポート1への漏れ経路を図4、図5に示している。そして、図4は端子ユニット10-2において発生する第1のPBS 11の消光比不足による漏洩光の光路を示している。図4(A)に示すように、漏洩光は、偏光分離膜15で透過すべきP偏光が反射し、反射すべきS変更が透過するので、偏光状態が正常のものと逆になる。従って、非相反部12からは2本の平行なP偏光が出射される。

【0042】このP偏光は、第2のPBS 20bの偏光分離膜23を透過し、全反射ミラー26で反射されて往復する際に2回ファラデー回転子25を通過してS偏光になる(図4(B)参照)。従って、図4(B)に示すように、第2のPBS 20bの偏光分離膜23で反射され、近接する第2のPBS 20a側に進み、その第2のPBS 20a偏光分離膜23で再度反射され、端子ユニット10-1の非相反部12に入射される。

【0043】1/2波長板16側の非相反部12を通過した光は、偏光状態は変わらずS偏光のままであるの
で、端子ユニット10-1内の第1のPBS11の偏光
分離膜15で反射し、端子ユニット10-1からはポ
ート1のない面に出射される。また、1/2波長板17側
の非相反部12を通過した光はS偏光がP偏光になるた
め、やはり、端子ユニット10-1内の第1のPBS1
1の偏光分離膜15を透過し、端子ユニット10-1か
らはポート1のない面に出射される。よって、ポート1
に結合しない。

【0044】さらに、端子ユニット10-1の第1のP
BS11の偏光分離膜15においても、消光比不足によ
り透過・反射されてポート1側に進む光（図中破線で示
す）があるが、すでに端子ユニット10-1の第1のP
BS11の偏光分離膜15で1回減衰されているので結
果として2回減衰されるため、無視できる程度の光の量
となる。

【0045】図5は、端子ユニット10-2の非相反部
12における回転不足による漏洩光の光路を示してい
る。第1のPBS11で正常に分離されたS偏光とP偏
光は、非相反部12で回転角ずれにより、その一部が正
常のものと逆の偏光成分が漏洩光となる。すなわち、正
常であれば非相反部からはS偏光が出射されるところ、
回転ずれがあると図5（A）に示すように、P偏光が出
射される。

【0046】従って、上記した第1のPBS11での漏
洩光と同様の経路を通り、図5（A）、（B）に示すよ
うに、係る漏洩光の多くは、端子ユニット10-1から
ポート1の内面に出射され、また、その漏洩光の一部が
端子ユニット10-1の第1のPBS11の偏光分離膜
15で生じる消光比不足によりポート1に結合される
が、2回減衰されるので、問題のない程度の非常に小
さい量となる。

【0047】また、具体的な光路図は記載しないが、ポ
ート3からポート2への漏洩光並びにポート4からポ
ート3への漏洩光も、上記したポート2からポート1への
漏洩光の原理と同様に、ポートの無い方向に出射され
るか、仮にポートに結合されたとしても、問題のない程度
の光量となる。

【0048】以上の結果、例えばPBSの消光比や非相
反部の回転誤差により生じる漏れ光を30dBとす
ると、ポート4→3→2→1の逆方向のアイソレーション
は、それぞれ各経路で少なくとも30dBずつ2回減衰
されるので、結果として60dB減衰されることにな
り、十分に高いアイソレーションを実現できることにな
る。

【0049】さらに、本例では、各端子ユニット10-
1～10-4を構成する非相反部12の2つの1/2波
長板16、17が一直線上に配列されるため、装置全体
の薄型化が図れる。また、各光路は、同一の平面（実施

の形態では水平平面）内をとる。

【0050】図6は、本発明の光サーキュレータの第2
の実施の形態を示している。本例では、上記した第1の
実施の形態の構成において、隣り合う端子ユニットの構
成要素の一部を共通の部品で構成するようにしている。

【0051】具体的には、図1に示す構造の端子ユニッ
ト10-1、10-2、10-3、10-4を上下に積
層する。すると、各端子ユニット10-1～10-4の
第1のPBS11を構成する三角プリズム13及び平行
四辺形プリズム14が互いに対向する。そこで、それら
を一体化し、部品の共通化を図った。つまり、細長な三
角プリズム13'と、細長な平行四辺形プリズム14'
を偏光分離膜15'を挟んで接合一体化して第1のPB
S11'を形成する。

【0052】同様に、図1に示す非相反部12も重ね合
わされ、非相反部12を構成する1/2波長板16は、
三角プリズム3と対向し、1/2波長板17は平行四辺
形プリズム4と対向するので、非相反部16同士、ま
た、非相反部17同士が上下に並ぶため、それらを一体
化する。よって、図6に示すように、細長な直方体から
なる1/2波長板16'、17'を接合することによ
り、一体化する。さらに、ファラデー回転子18'も一
体化している。これにより図示するように、端子ユニッ
ト10'を構成する各部品が、削減でき、組み立て等も
容易になる。また、この例では、上下に積み重ねるよ
うにしたので、設置面積（占有面積）が小さくなる。

【0053】なお、本例では、第1のPBS11側から
ファラデー回転子18と三角プリズム13'側に位置す
る1/2波長板16'を通過した光は、ファラデー回転
子18'と1/2波長板16'でそれぞれ正逆方向に4
5度ずつ回転して偏波面が変わらず、逆に1/2波長板
16'側から両光学部品16'、18'を通過した光
は、偏波面が同一方向に45度ずつ回転してP偏光はS
偏光（S偏光はP偏光）に変換されるように設定してい
る。そして、1/2波長板17'側では、上記とは逆の
動作を行うようにしている。

【0054】さらに、端子ユニット10'を上下に積層
したのにもない、各ポート1～4も等間隔に上下に配
置し、また、第2のPBS20a～20c、ファラデー
回転子25並びに全反射ミラー26を起立形成した。

【0055】次に、上記した構成の光サーキュレータの
動作原理、すなわち、順方向と逆方向の光路について説
明する。

【0056】〔順方向の光路〕まず、ポート1からポ
ート2への順方向の光路は、図7に示すようになる。すな
わち、同図（A）に示すように、ポート1の端子ユニッ
ト10において、光ファイバからの出射光線がレンズで
コリメートされ、第1のPBS11'に入射し、偏光分
離膜15'でP偏光とS偏光に分離される。P偏光成分
は偏光分離膜15'を透過し、S偏光成分は偏光分離膜

11

15'で反射して平行四辺形プリズム14'でも反射する。その結果、P偏光とS偏光は第1のPBS11'から平行に出射する。

【0057】非相反部12'では、ファラデー回転子18', 1/2波長板16'を通過する光路には、P偏光が入射されるので、上記したように各光学部品18', 16'で正逆方向に45度ずつ回転されP偏光のまま出射される。また、ファラデー回転子18', 1/2波長板17'を通過する光路には、S偏光が入射されるので、上記したように各光学部品18', 17'で同一方向に45度ずつ回転され、P偏光が出射される。従って、非相反部12'から出射された2本の光は、ともにP偏光となる。

【0058】上記非相反部12'から出射された2本のP偏光の光線は、第2のPBS20aに入射されるが、第2のPBS20aの偏光分離膜23と、第1のPBS11'の偏光分離膜15'の面が直交しているので、第2のPBS20a内ではS偏光として機能する。よって、第2のPBS20の偏光分離膜23で反射され、下方に向けて進み隣接する第2のPBS20bの偏光分離膜23で再度反射される。これにより、下方に所定距離だけシフトされて次段のファラデー回転子25に向けて出射される。なお、このシフト量は、ポート1とポート2の離反距離と同じであり、ポート2の設置高さと同じ平面上で出射される。

【0059】そして、全反射ミラー26で反射されることにより往復でファラデー回転子25を2回通り、第2のPBS20bにとってP偏光の光が戻ってくる(図7(B))。よって、第2のPBS20bの偏光分離膜23を透過し、端子ユニット12'で結合してポート2に偏波依存性無く結合される。

【0060】同様の原理に従い、ポート2から入射された光は、偏波依存性なくポート3に結合され、また、ポート3から入射された光は偏波依存性なくポート4に結合される。このように、本例では、光が上下方向に移動しながら進むことになる。

【0061】[逆方向に進む漏洩経路] ポート2からポート1への漏れ経路を図8、図9に示している。そして、図8は、第1のPBS11'で生じる漏洩光の光路を示している。すなわち、ポート2から入射された光の一部が、端子ユニット10'の第1のPBS11'の偏光分離膜15'の消光比不足によってP偏光が反射され、S偏光が透過されてしまう。従って、非相反部12'では、上記した順方向を進む光とは逆に、S偏光(偏波面が垂直)が出射される。

【0062】すると、第1のPBS11'でのS偏光は第2のPBS20bではPとなるので偏光分離膜23を透過し、全反射ミラー26で反射されることによりファラデー回転子25を2回通り、第2のPBS20bにとってS偏光に変換される。従って、偏光分離膜23で反

12

射され、上方に移動し、第2のPBS20aの偏光分離膜20aの偏光分離膜23で再度反射されてポート1の設置高さと同じ平面上をポート1に向かって進む。しかし、上記した第1の実施の形態と同様に、第1のPBS11'の偏光分離膜23で合成され、大部分の光はポート1の無い方向に出射される。そして、その一部がポート1に結合されるが、2回減衰しているため、問題のない程度となる。

【0063】また、非相反部12'における回転ずれに基づく漏洩光は、図9に示すようになり、やはり端子ユニット10'から出射される時は、S偏光になっている。よって、上記した第1のPBS11'で発生する漏洩光と同様に、各光学部品で透過反射が繰り返されるとともに、偏波面が回転され、最終的に第1のPBS11'の偏光分離膜15'で合成され、大部分の光はポート1の無い方向に出射される。そして、その一部がポート1に結合されるが、2回減衰しているため、問題のない程度となる。なお、その他の構成並びに作用効果は、上記した第1の実施の形態と同様であるため、その詳細な説明を省略する。

【0064】図10は、本発明に係る光サーキュレータの第3の実施の形態を示している。同図に示すように、本実施の形態は、上記した第1の実施の形態を基準とし、端子ユニット10-1~10-4と、第2のPBS20a~20dの間に、偏波分散補償板28を設置している。

【0065】すなわち、第1のPBS11'で偏波分離した際に、平行四辺形プリズム14側を通る光路は、その平行四辺形プリズム14の幅dの2倍に相当する光学距離(平行四辺形プリズム14の幅dと屈折率の積)だけ長く移動することになる。従って、端子ユニット10-1の第1のPBS11'の偏光分離膜15'で分離され、隣接する端子ユニット10-2の第1のPBS11'の偏光分離膜15'で合成されるまでの間で、係る光学距離に応じた光路差が生じるので、厳密にいうと偏波分散を生じる。そして、伝送する信号の周波数が高くなると、前後の信号と干渉してしまう。

【0066】そこで、本例では、三角プリズム13を通過する光の光路上に空気より屈折率の高いガラスからなる偏波分散補償板28を配置し、その偏波分散補償板28を通過させる。そして平行四辺形プリズム14を通過する光は、偏波分散補償板28と同一距離だけ空気中を通過させることにより、上記した光路差を解消するようにする。

【0067】そして、具体的な寸法は、第1のPBS11'並びに偏波分散補償板28に使われるガラスの屈折率を1.5とすると、偏波分散補償板28の長さDが、平行四辺形プリズム14の一辺の長さdの3倍の長さになるように設定するとよい。なお、その他の構成並びに作用効果は、上記した第1の実施の形態と同様であるの

13

で、その詳細な説明を省略する。

【0068】また、この偏波分散補償板を実装する構造としては、上記した第1の実施の形態のものに限らず、例えば第2の実施の形態のものに適用してももちろんよい。その一例を示すと図11に示すようになる。

【0069】さらに、偏波分散補償板28を設置する位置は、三角プリズムを通過する光路上に配置すればよいので、例えば図12に示すように、端子ユニット11'の内部に実装してもよい。つまり、図示のように第1のPBS11'と、非相反部12'の間に実装してもよく、さらには図示省略するが、非相反部12'の内部(1/2波長板とファラデー素子の間)に実装してもよい。そして、係る構造は、第1の実施の形態に適用してもよいのはもちろんである。

【0070】さらに、端子ユニットの共通化を図った第2の実施の形態では、第2のPBSの共通化を図ることもできる。すなわち、図12に示すように、ポートn(nは1~3)から入射された光が照射される第2のPBSの三角プリズムと、それと隣接するポート(n+1)から入射された光が照射される第2のPBSの三角プリズムとを一体化した平行四辺形プリズム29'を用いている。つまり、3つの平行四辺形プリズム29'を偏光分離膜23'で接合し、さらにその両端に2つの三角プリズム21'をそれぞれ偏光分離膜23'を介して接合することにより、4つのポートに対応した4つの第2のPBSを一体的に形成する。これにより、部品点数のさらなる削減が図れる。そして、こように第2のPBS20'を一体的に形成した構造は、図11に示す構造並びに第2の実施の形態のいずれにも適用できる。

【0071】なお、上記した各実施の形態並びにその変形例では、いずれも偏波回転手段としてファラデー回転子25を用いた例を説明したが、本発明はこれに限ることではなく、ファラデー回転子25に替えて、S偏光或いはP偏光に光学軸をあわせた1/4波長板にしても同様の作用効果を得ることができる。

【0072】図13は、本発明の第5の実施の形態を示している。本実施の形態では、さらに所定の光路上に複屈折板を実装するようにし、さらなる高アイソレーション化を図っている。すなわち、この例は、第1の実施の形態の光サーキュレータを置き換えたもので、さらに第1の実施の形態では4ポートとしたが、図示の例では1列除去して3ポートとしているため、平行に配置された3つのポートに対向して3つの端子ユニット10-1~10-3を横に並ぶように配置する。そして、各端子ユニット10-1~10-3と直列に、第2のPBS20a~20cと全反射ミラー26を配置する。

【0073】ここで本例では、第2のPBS20a~20cと全反射ミラー26との間に、その全反射ミラー26と同一の平面形状からなる複屈折板30と偏波回転手段としての1/4波長板31を順次積層配置した構成を

14

とるようにしている。なお、複屈折板30の光学軸は、第2のPBS20a~20cにおけるS偏光が常光または異常光(本例では常光)になるように設定しておく。

【0074】そして、係る構成の動作原理について説明すると、以下のようになる。

【0075】[順方向の光路] ポート1から入射された光の順方向の光路を図14に示す。同図に示すように、ポート1から入射された光は、図3に示す第1の実施の形態と同様に2本の平行なS偏光となって端子ユニット10-1から出射される。よって第2のPBS20a、20bの偏光分離膜23で2回反射されて水平方向にシフトされ、複屈折板30に至る。

【0076】複屈折板30の光学軸は、第2のPBS20bに対するS偏光が常光になるように設定してあるので光は直進して、偏波回転手段たる1/4波長板31を透過し、さらに全反射ミラー26で反射されて再度1/4波長板31を通過することにより、光の偏波面が90°回転する。よってこのときは複屈折板に対しては異常光になっているので、同図(B)に示すように複屈折板でシフトした後第2のPBS20bに入射される。

【0077】そして、この光は、第2のPBS20bに対してはP偏光になっているので偏光分離膜23を透過して、端子ユニット10-2に至る。よって、上記した各実施の形態と同様に端子ユニット10-2内で合成され、ポート2に偏波依存性なく結合される(端子ユニット10-2からの出射位置にポート2を配置する(以下同じ))。

【0078】なお、複屈折板30の光学軸を、上記と逆に第2のPBS20a~20cにおけるS偏光が異常光になるようにすると、第2のPBS20bから進む往路の時に複屈折板でシフトし、復路の時は複屈折板でシフトすることなく直進するが、複屈折板でのシフトはいずれにしても1回であるので、最終的にポート2に結合するのは同じである。

【0079】また、ポート2から入射された光は、図15に示す光路を通り、上記したポート1からポート2への光と同様の原理に従いポート3に偏波依存性なく結合される。

【0080】[逆方向の光路] 次に、ポート2からポート1への漏洩光の光路について説明する。まず、図6に示すように、ポート2から入射された光は、端子ユニット10-2の第1のPBSでの消光比不足並びに非相反部での回転ずれにともなう漏洩光として、その一部が端子ユニット10-2からP偏光として出射される。

【0081】その漏れ光成分は、第2のPBS20bの偏光分離膜23を透過し、複屈折板30でシフトし、全反射ミラー26で反射して往復する際に1/4波長板31を両方向に通過するため偏波面が90度回転し、S偏光となる(同図(B)参照)。従って、第1の実施の形態と同様に、第2のPBS20b、20aの偏光分離膜

10

20

30

40

50

15

23で2回反射されながら進み、端子ユニット10-1にS偏光として入射される。

【0082】従って、端子ユニット10-1の第1のPBS11の偏光分離膜15で合成され、大部分はポート1のない部分に向けて出射される。そして、端子ユニット10-1での消光比不足並びに回転ずれにより、その一部はポート1に結合されるが、少なくとも2回減衰するので、問題のない程度となる。

【0083】一方、逆方向に進む漏洩光は、上記した端子ユニットに限らず、他の光学部品でも生じる。すなわち、図17は、1/4波長板31で生じる漏洩光の光路を示している。同図(A)に示すように、ポート2から入射された光は、正常であればS偏光であるので、第2のPBS20b、20cで反射し、光路がシフトされ複屈折板30をさらに直進する。ここまでは図15(A)に示したポート2からポート3へ進む順方向の光路と同様である。

【0084】全反射ミラー26で反射して戻ってくる際に、1/4波長板31を2回通過するが、その通過の際に偏波回転ずれによる漏れ成分があると、P偏光のままとなる。すると、同図(B)に示すように、往路と同様の光路を逆に進み、端子ユニット10-2に入射される。そして、係るP偏光は端子ユニット10-2の第1のPBSの偏光分離膜で合成され、大部分はポート2のない部分に向けて出射される。なお、端子ユニット10-2で発生する漏洩光がポート2に結合されるが、少なくとも2回減衰するので、問題のない程度となる。

【0085】さらに、ポート2から入射された光は、上記したように2本のS偏光となって、第2のPBS20bに入射される。従って、本来であればその第2のPBS20bの偏光分離膜30で反射されるが、消光比不足により透過してしまう光がある。係る光の光路を図18に示す。

【0086】同図に示すように、第2のPBS20bから出射された光は、全反射ミラー26で反射されて往復する際に1/4波長板31を両方から通過することにより、P偏光になる。従って、同図(B)に示すように、複屈折板30でシフトされた後第2のPBS20bに戻ってくる。そして、係る戻り光はP偏光であるので第2のPBS20bの偏光分離膜20を透過し、端子ユニット10-2に入射される。

【0087】そして、端子ユニット10-2で合成された光は、ポート2のある面に向けて出射されるが、復路の複屈折板30を通過する際にその光路がシフトされているので、ポート2に対して僅かにずれたところに出射する。よって、ポート2には結合しないので(自ポートには戻らないので)、反射減衰量を低減できる。

【0088】さらにまた、ポート2から入射された光は、図19(A)に示すように第2のPBS20bで反射されて第2のPBS20c側にシフトされ全反射ミラ

16

ー26に至る。そして、全反射ミラー26で反射され、1/4波長板31を往復することによりP偏光に偏光されて第2のPBS20cに戻ってくる。

【0089】そして、同図(B)に示すように、この第2のPBS20cの消光比不足により、P偏光の一部は偏光分離膜で反射されてしまう。すると、隣接する第2のPBS20b側に向けて進むが、P偏光は各偏光分離膜を透過するので、そのまま直進し、ポートには結合しない。

【0090】また、各第2のPBS20a、20bの偏光分離膜23でも、消光比不足によりその一部が反射し、端子ユニット10-1、10-2で合成され各ポートのある方向に出射されるが、複屈折板30で1回シフトされることにより、ポート1、2に対して僅かにずれたところに出射する。よって、ポート1、2には結合しない。よって、非常に高い光アイソレーションが得られる。

【0091】なお、具体的な光路図は記載しないが、ポート3から入射された光の漏洩光も上記したのと同様の原理に従い、ポート1~3のいずれにも結合しないか、仮に結合したとしてもごく僅かな量となる。

【0092】そして、本実施の形態のように複屈折板30を実装したタイプでも、上記した各実施の形態と同様に、端子ユニットを共通化することができる。すなわち、図6に示した第2の実施の形態のうち、ファラデー回転子25を1/4波長板231にするとともに、その1/4波長板31と第2のPBS20a~20cとの間に複屈折板30を実装してもよい(図20参照)。さらには、図21、図22に示すように、上記した図17、20に示した構成に偏波分散補償板28を実装するようにしてももちろんよい。そして、各構成及びその作用効果は、上記した各構成のものと同様であるので、同一符号を付しその詳細な説明を省略する。

【0093】さらにまた、上記した図17、20~22の構成において、1/4波長板31に替えて、45度回転するファラデー回転子にしてももちろんよい。さらには、ポート数を3としたが、4ポート以上でももちろんよい。

【0094】[光スイッチへの応用] 上記した各実施の形態並びに変形例に示した光サーキュレータにおいて、前述の各非相反部として電気的手段により非相反性の方向が切替自在なものをを用いることで、ポート1→2→3→4→1と光が伝搬する状態と、ポート1→4→3→2→1と光が伝搬する状態とを切り替えることができる。つまり、非相反部を構成するファラデー回転子18に対する磁界の印加手段を上記した各実施の形態等では、永久磁石としたが、それを電磁石に置き換えることにより光スイッチとして利用できる。

【0095】

【発明の効果】本発明では複屈折結晶を使用せずに、偏

光ビームスプリッタを偏光分離手段および光路決定手段として用いているので、製作が容易で安価であり、しかも分離距離を十分に大きくとっても小型の偏光ビームスプリッタで済む。また偏光ビームスプリッタの消光比があまり高くないことから、従来、このタイプで低損失かつ高アイソレーションの光サーキュレータを実現することができなかったが、本発明の構成によれば消光比や回転誤差によって生じる漏れ光が他のポートに達しないので高いアイソレーションを実現できる。また、偏光ビームスプリッタの通過後の分離距離は入射角度に依存しないので、各構成要素の組立・調整が容易である。

【0096】各入出射ポートを同一面に取り付ける(ポート・光ファイバは平行に配置する)ことができ、小型化が図れ、さらに本発明品を光回路基板上に実装する際に、中央に置く必要がなくなるので、配置レイアウトの自由度が向上する。

【0097】また本発明によれば、前記の利点(製作容易・調整容易・安価・小型・高クロストーク)をそのまま有する光スイッチを実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る光サーキュレータの第1の実施の形態を示す構成図である。

【図2】端子ユニットの別の構成を示す図である。

【図3】図1に示す光サーキュレータの作用説明図その1である。

【図4】図1に示す光サーキュレータの作用説明図その2である。

【図5】図1に示す光サーキュレータの作用説明図その3である。

【図6】本発明の光サーキュレータの第2実施の形態を示す構成図である。

【図7】図6に示す光サーキュレータの作用説明図その5である。

【図8】図6に示す光サーキュレータの作用説明図その6である。

【図9】図6に示す光サーキュレータの作用説明図その6である。

【図10】本発明の光サーキュレータの第3の実施の形態を示す構成図である。

【図11】本発明の光サーキュレータの第4の実施の形態を示す構成図である。

【図12】本発明の光サーキュレータの他の実施の形態

を示す構成図である。

【図13】本発明の光サーキュレータの第5の実施の形態を示す構成図である。

【図14】図13に示す光サーキュレータの作用説明図その1である。

【図15】図13に示す光サーキュレータの作用説明図その2である。

【図16】図13に示す光サーキュレータの作用説明図その3である。

10 【図17】図13に示す光サーキュレータの作用説明図その4である。

【図18】図13に示す光サーキュレータの作用説明図その5である。

【図19】図13に示す光サーキュレータの作用説明図その6である。

【図20】本発明の光サーキュレータの他の実施の形態を示す構成図である。

【図21】本発明の光サーキュレータの他の実施の形態を示す構成図である。

20 【図22】本発明の光サーキュレータの他の実施の形態を示す構成図である。

【符号の説明】

6 カップリングレンズ

7 光ファイバ

10-1, 10-2, 10-3, 10-4 端子ユニット

11 第1の複合偏光ビームスプリッタ

12 非相反部

13 三角プリズム

30 14 平行四辺形プリズム

15 偏光分離膜

16, 17 1/2波長板

18 ファラデー回転子

20a~20d 第2の複合偏光ビームスプリッタ

21, 22 三角プリズム

23 偏光分離膜

25 ファラデー回転子(偏波回転手段)

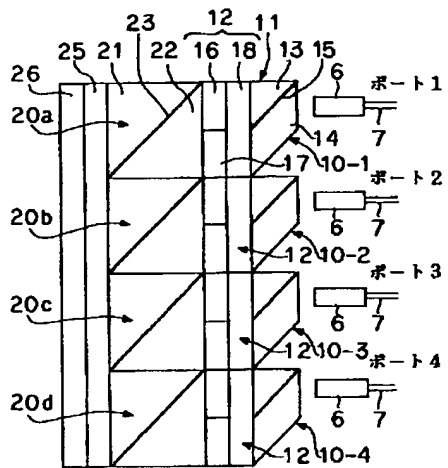
26 全反射ミラー(反射手段)

28 偏波分散補償板

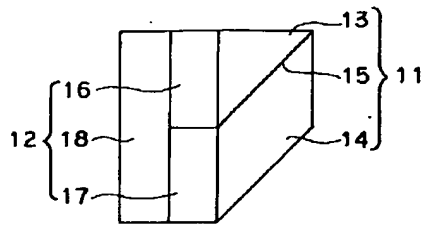
40 30 複屈折板

31 1/4波長板(偏波回転手段)

【図1】

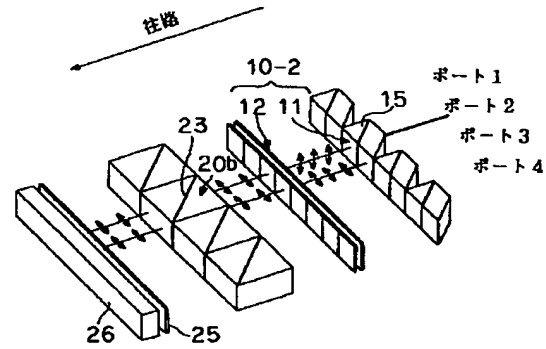


【図2】

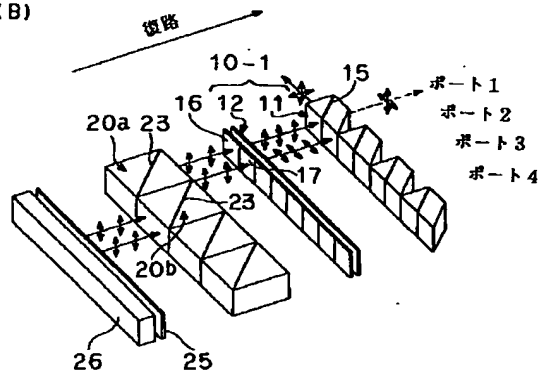


【図4】

(A)

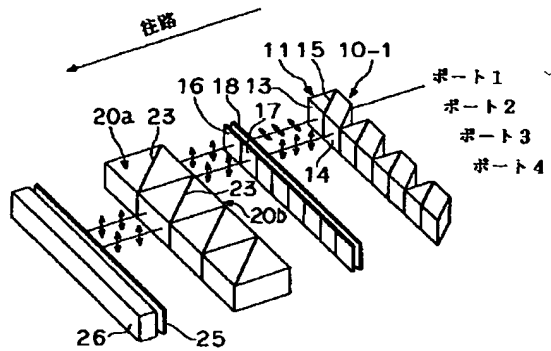


(B)

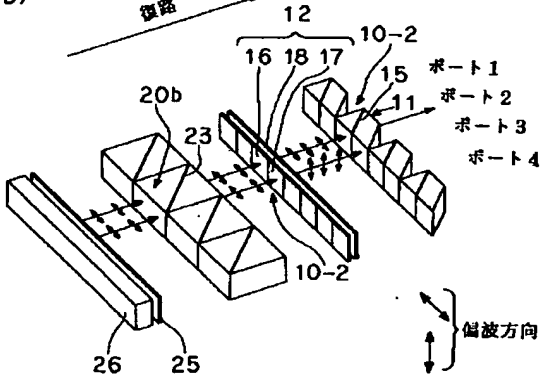


【図3】

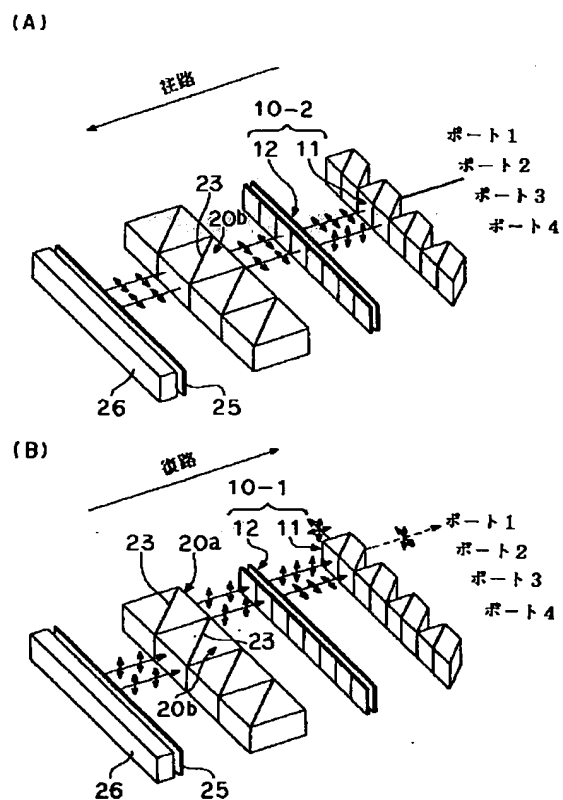
(A)



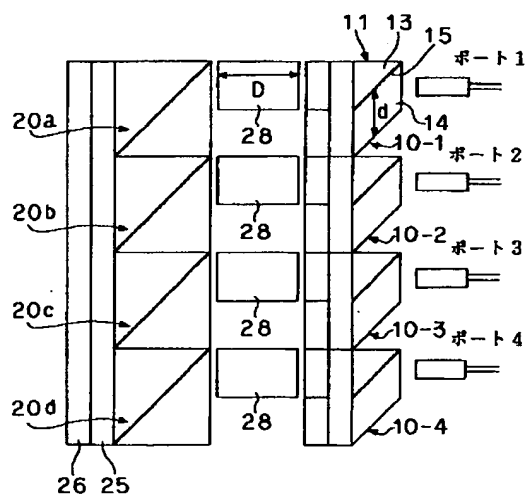
(B)



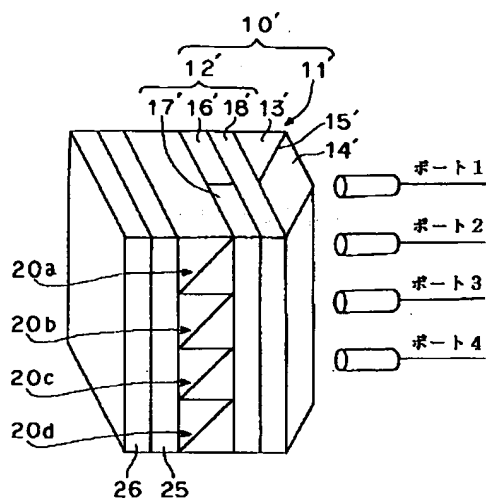
【図5】



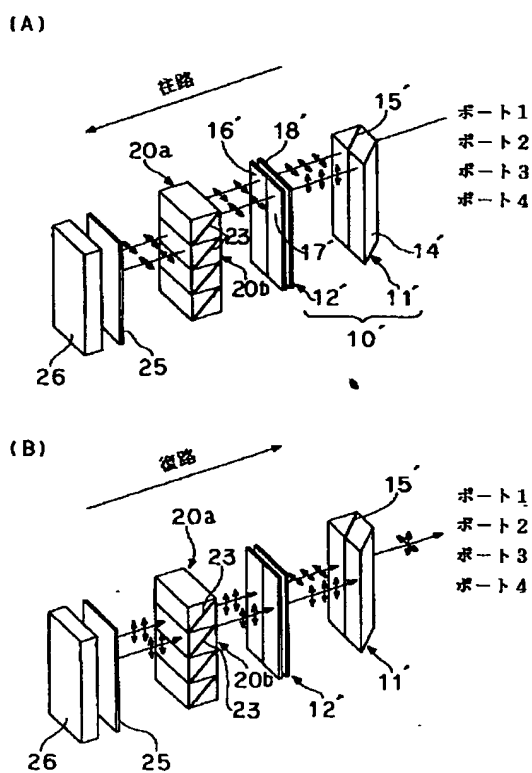
【図10】



【図6】

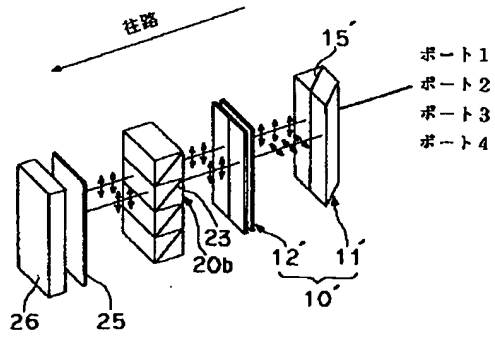


【图7】

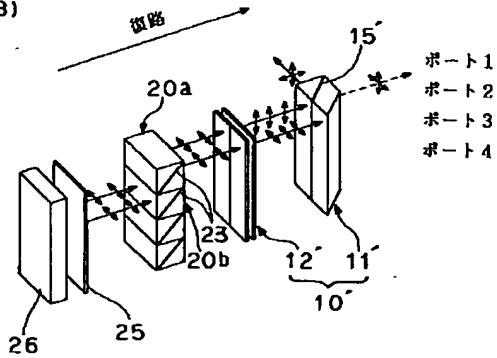


【図8】

(A)

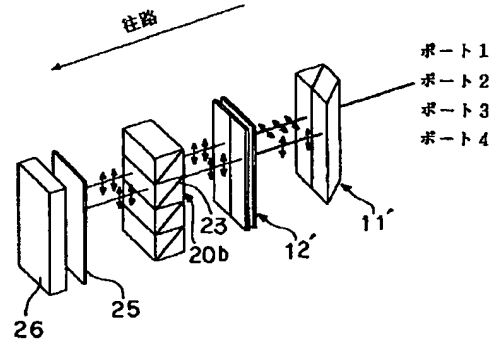


(B)

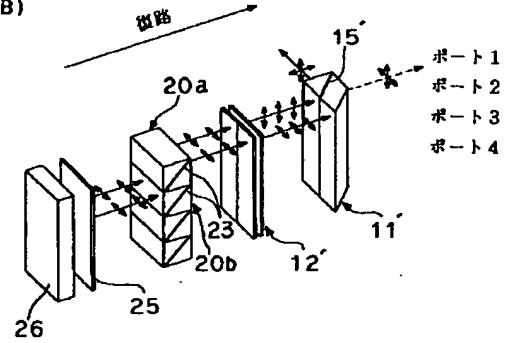


【図9】

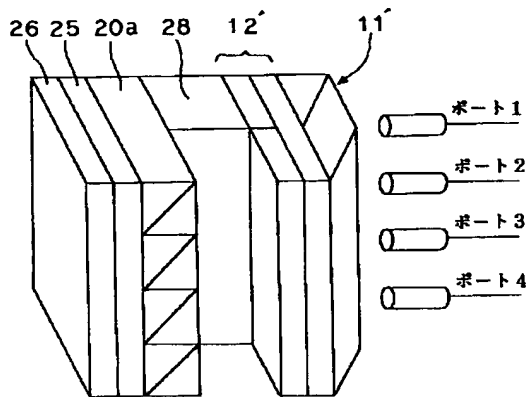
(A)



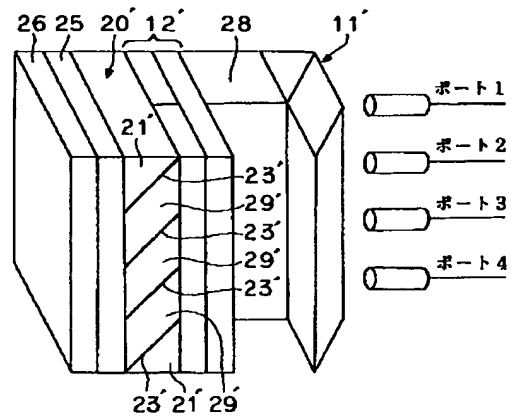
(B)



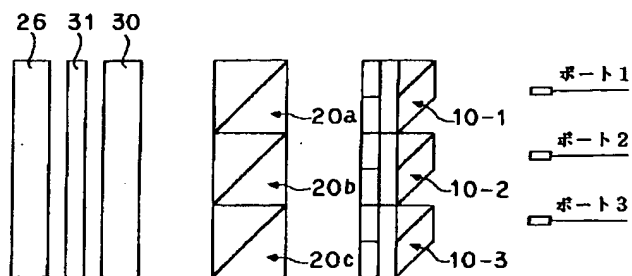
【図11】



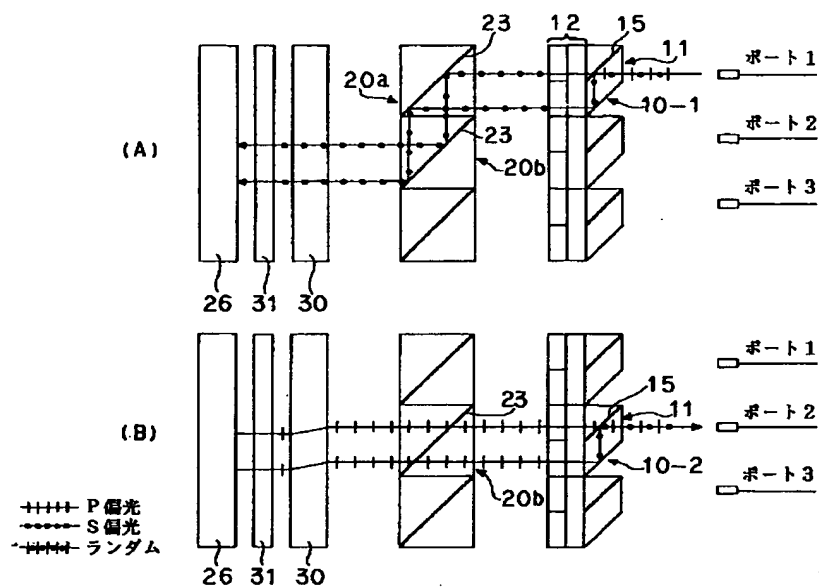
【図12】



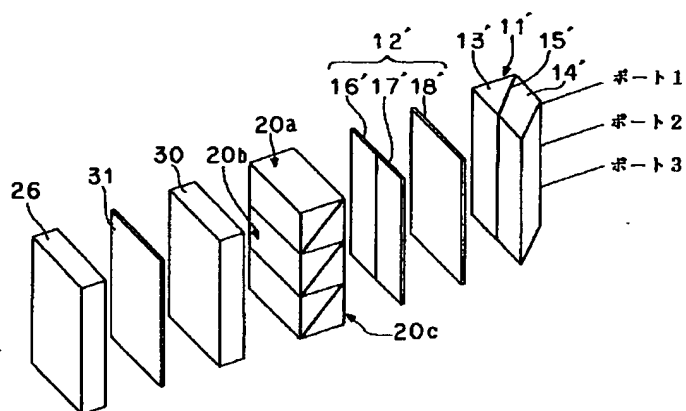
【図13】



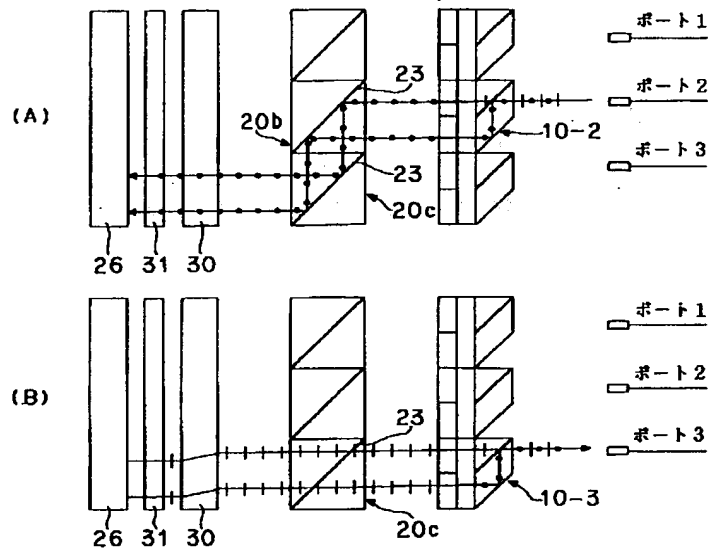
【図14】



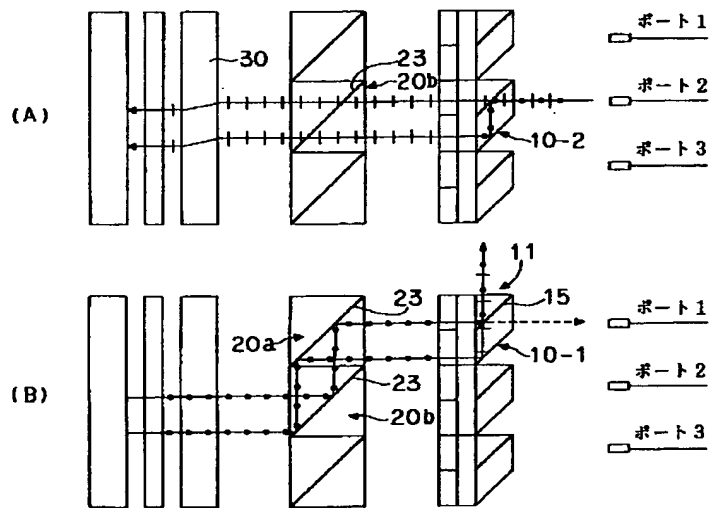
【図20】



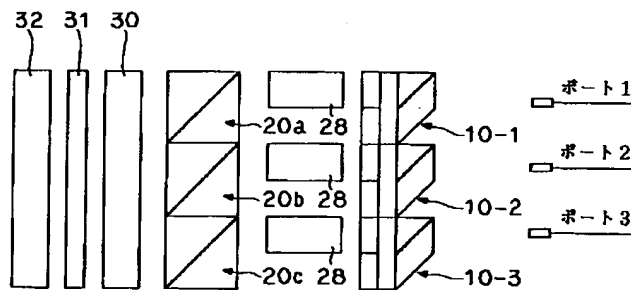
【図15】



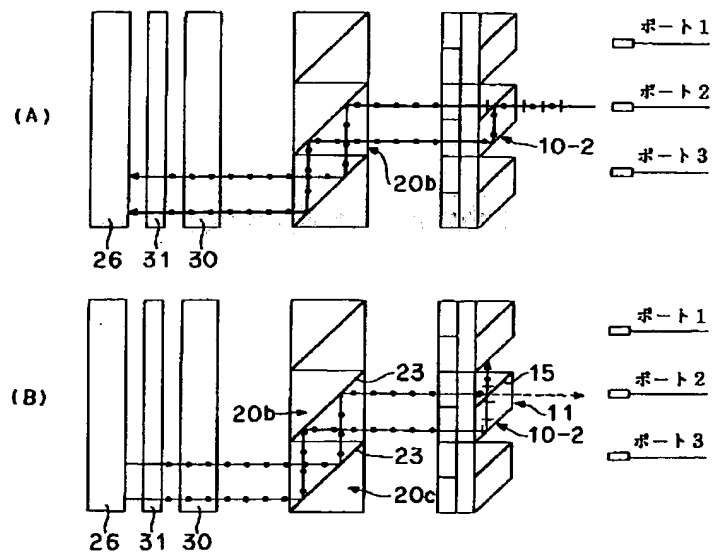
【図16】



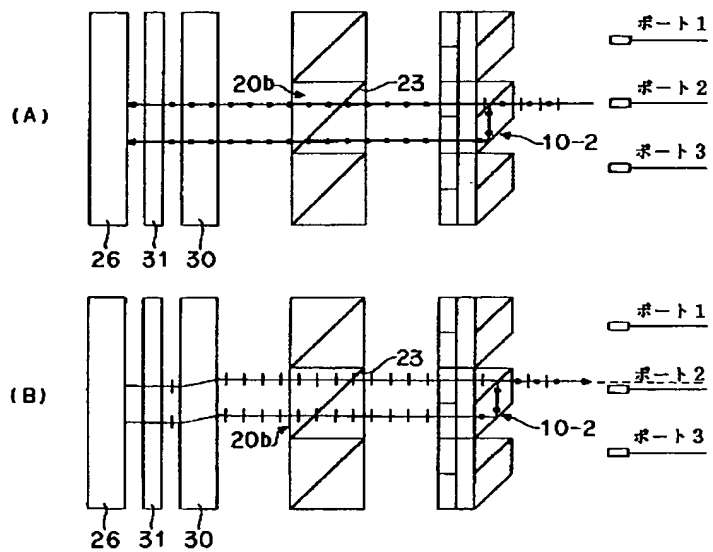
【図21】



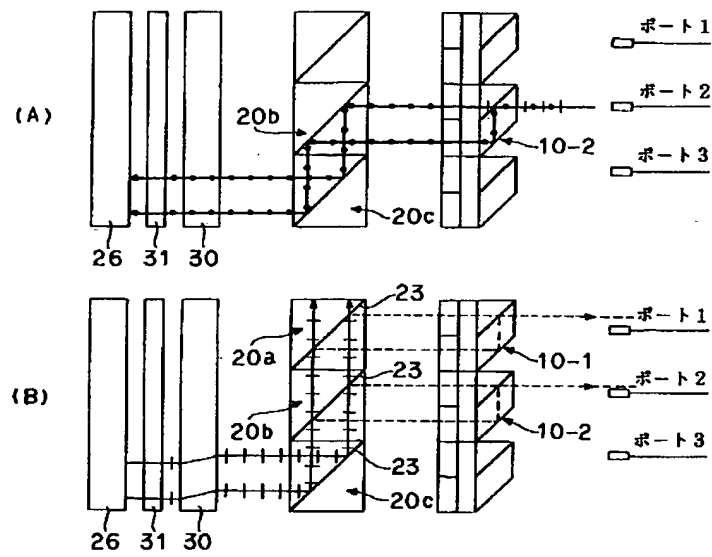
【図17】



【図18】



【図19】



【図22】

